نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۳ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۴۷-۲۲۷

اثر روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر بر خصوصیات زراعی کتان روغنی در شرایط تنش خشکی پس از گلدهی در منطقه کرمانشاه

بهاره ناصریه[۱]، محسن سعیدی[۲*]، محمود خرمی‌وفا[۲]، دکتر روح‌الله شریفی[۳]، شهاب خوشخوی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳۱
۱-کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲-به ترتیب دانشیار و استادیار گروه مهندسی تولید و زنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۳-استادیار گروه مهندسی گیاه‌پزشکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
٤-کارشناسی ارشد زراعت، پارک علم و فناوری کرمانشاه
* مسئول مکاتبه: Email: msaeidi@razi.ac.ir

چکیده

اهداف: این تحقیق به منظور بررسی اثر روش‌های پیش‌تیمار بذر بر صفات زراعی کتان روغنی در شرایط تنش خشکی بعد از گلدهی طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در دانشگاه رازی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این بررسی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل: ۱) رقم در دو سطح(هندی و مجاری و ۲) پرایم بذر در هشت سطح شامل پنج سویه باکتری(*Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus sp.*، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Pseudomonas geniculate*) و پیش‌تیمار بذر با آب مقطر، نیترات پتاسیم و تیمار شاهد و ۳) قطع آبیاری بعد از گلدهی و شاهد (آبیاری منظم تا زمان رسیدگی) انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، در شرایط عدم تنش خشکی عملکرد دانه رقم هندی و مجاری به ترتیب با ۱۵۳٦ و ۱٤۹۷ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌دار نداشتند، ولی عملکرد زیست‌توده رقم مجاری (٦۱۲۹ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی-داری از رقم هندی (٤٥۷٤ کیلوگرم در هکتار) بالاتر بود. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و زیست‌توده، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و تعداد کپسول در بوته هر دو رقم مورد بررسی شد. روش‌های پیش‌تیمار بذر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزاء آن در شرایط تنش خشکی پس از گلدهی و شرایط شاهد شدند. پیش تیمار بذر با باکتری‌های *Bacillus megaterium* و *Bacillus amyloliquefaciens* نتایج بهتری در این ارتباط داشتند.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد استفاده از سویه‌های مناسب و بومی باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت تلقیح بذر از راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید گیاهان زراعی در شرایط معمول و تنش کم‌آبی باشد.
واژه‌های کلیدی: باکتری محرک رشد گیاه، تعداد دانه در بوته، نیترات پتاسیم، وزن هزار دانه، هیدروپرایم

The Effect of Different Methods of Seed Pretreatment on Agronomic Characteristics of flaxseed under Post Flowering Drought Stress in Kermanshah Region

Bahare Naseriyeh[1], Mohsen Saeidi[2*], Mahmoud Khoramivafa[2], Rouhallah Sharifi[3], Shahab Khoshkhooi[4]

Received: January 30, 2021 Accepted: June 21, 2021
1-Master's Degree in Agronomy, Plant Production and Genetic Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.
2-Assoc. Prof., and Assist. Prof., Respectively, Plant Production and Genetic Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.
3-Assist. Prof., Plant Protection Department, Razi University, Kermanshah, Iran.
4-Master's Degree in Agronomy, Kermanshah Science and Technology Park.
*Corresponding Author Email: msaeidi@razi.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This research was conducted to investigate the effect of seed priming on the grain yield and its related traits of linseed under post flowering water deficit in Razi University during the 2015-2016 years.

Materials and Methods: A factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in Razi University, Kermanshah, Iran was used. Three factors including: two cultivars (Indian and Hungarian), seed pre-treatment factor in eight levels including five seed bacteria inoculations (*Bacillus sp.*, *Bacillus megatrium*, *Bacillus amyloliqueufaciens*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas geniculata*), Hydro priming, KNO_3 and control treatment and 3) Stop watering after flowering and control were evaluated.

Results: The results showed that, in control treatment, grain yield of Indian and Hungarian cultivars (1536 and 1497 $kg.ha^{-1}$ respectively) had not significant difference, but biomass yield of Hungarian cultivar (6129 $kg.ha^{-1}$) was significantly higher than of Indian cultivar (4575 $kg.ha^{-1}$). Water deficit caused significant reduction in grain yield, biological yield, the number of pod per plant, the number of grain per plant, thousands grain weight, the number of empty pod per plant, plant height, the number of main branches and the number of subsidiary branches in two evaluated cultivars. Seed priming treatments not only significantly mitigated water deficit effect on grain yield and its components but also in control treatment, increased these traits significantly. *Bacillus megatrium* and *Bacillus amyloliqueufaciens* had the best positive effect on evaluated traits.

Conclusion: It seems that use of appropriate and indigenous strains of plant growth promoting bacteria can be one of the suitable strategies for increasing the productivity of crops under drought stress conditions.

Keywords: Hydro Prime, KNO_3, No of Grains per Plant, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, Thousands of Grains Weight

مقدمه

کتان با نام علمی *Linum usitatissimum* L. و به دو فرم کتان لیفی۱ و کتان روغنی۲ یا بزرک دیده می‌شود. کتان گیاهی علفی، یک ساله با طول دوره رشد ۱۲۵-۹۰ روز از تیره لیناسه می‌باشد (تادس و همکاران ۲۰۰۹). کتان گیاهی دو منظوره می‌باشد. از ساقه این گیاه به منظور استحصال لیف و از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود (زوک و همکاران ۲۰۱۵). دانه این گیاه ۳۵ تا ٤٦ درصد روغن، ۱۸ تا ۲۵ درصد پروتئین و ۲۳ تا ۳۰ درصد کربوهیدرات دارد. روغن دانه این گیاه غنی‌ترین منبع اسیدهای چرب غیر اشباع آلفالینولنیک (امگا۳) است (سوتوسردا همکاران ۲۰۱٤). ایران به دلیل موقعیت مکانی (در عرض جغرافیایی ۲۵تا ۳۸ درجه شمالی)، جز مناطق خشک تا نیمه خشک محسوب می‌شود و با توجه به قرارگیری بخش اعظم مناطق کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه خشک، مهمترین عامل محدود کننده تولید محصولات زراعی از جمله کتان، تنش خشکی می‌باشد. از آثار تنش خشکی می‌توان به تغییر سطوح هورمون‌های گیاهی و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه اشاره کرد (شانکر و ونکاتسوارلو ۲۰۱۱). برای مقاومت به این تنش‌ها روش-های مختلفی مانند استفاده از مواد شیمیایی و تولید ارقام مقاوم پیشنهاد گردیده است که به دلیل زمان‌بر بودن، هزینه بالا و در پی‌داشتن مخاطرات زیست محیطی فراوان اغلب استفاده از آنها مقدور نمی‌باشد (ازازی و احمدزاده ۲۰۱٤). لذا ارائه راه کارهایی که ضمن اقتصادی و مقرون به صرفه‌بودن و دارای کارایی، مناسب جهت مقاومت به این تنش‌ها باشند الزامی می‌باشد. در این ارتباط یکی از راهکارها، پرایمینگ[3] بذر می‌باشد که کمک شایانی به استقرار مطلوب گیاهچه و استفاده بهتر از عوامل محیطی می‌کند. بذر به واسطه پرایمینگ، پیش از قرارگرفتن در بستر خود به لحاظ فیزیولوژیک و بیوشیمیائی دچار تغییراتی می‌شود و در نتیجه این تغییرات رشد سریع گیاهچه (تیزازو و همکاران ۲۰۱۹)، تحمل گیاه به تنش خشکی از طریق توسعه ریشه تحت شرایط متغییر محیطی (عیسوند و همکاران ۲۰۱۰) و گلدهی زودتر و افزایش کمی و کیفی عملکرد (آذرنیا و عیسوند ۲۰۱۳) ایجاد می‌شود. یکی دیگر از راهکارها استفاده از کودهای زیستی است. از جمله کودهای زیستی می‌توان به باکتری‌های محرک رشد اشاره کرد. این گروه از باکتری‌ها در منطقه ریزوسفر ریشه از طریق سازوکار-های مختلفی مانند افزایش حلالیت فسفات (شریفی و ریو ۲۰۱٦)، تولید فیتوهورمون‌هایی از قبیل اکسین، سیتوکنین، جیبرلین و جلوگیری از تولید هورمون اتیلن (چینوسامی و همکاران ۲۰۰٤)، بهبود جذب آب و عناصرغذایی توسط گیاه، توسعه سیستم ریشه و جلوگیری از ریزش اندام هوایی موجب بهبود رشد گیاهچه در شرایط تنش می‌شوند (رنوت و همکاران ۲۰۰٤). کودهای زیستی به عنوان یکی از طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه‌ها به منظور زنده و فعال نگه داشتن سیستم حیاتی خاک مطرح هستند (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹). در کشاورزی، بهبود و حفظ باروری خاک، اهمیت ویژه‌ای برای تامین نیاز مواد غذایی جمعیت روبه رشد دارد (شولتز و همکاران ۲۰۱۸) و بهبود کیفیت خاک می‌تواند بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی جامعه زیستی آن ارزیابی شود. به همین دلیل استفاده از کودهای زیستی از موثرترین شیوه‌های مدیریتی برای حفظ کیفیت خاک در سطح مطلوب مطرح شده است (یاداو و سرکار ۲۰۱۸).

در همین ارتباط رجبی خمسه و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده کردند تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار صفات مورد اندازه‌گیری از جمله تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته و عملکرد دانه کتان شد. اما پیش تیمار بذر-ها با باکتری‌های محرک رشد گیاه موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی شد. البته واکنش سایر باکتری‌ها در

1- Flax
2- Linseed
3- Seed Priming

هر دو شرایط رطوبتی یکسان نبود و باکتری‌های مایکوباکتریوم، باسیلوس و سودوموناس در هر دو شرایط رطوبتی تاثیر مثبت و معنی‌دار داشتند. اثر مثبت و معنی‌دار باکتری‌های محرک رشد گیاه سودوموناس و آزوسپریلیوم بر عملکرد دانه و روغن توسط توسط کسمایی میرمیران و همکاران (۲۰۱۳) و اثرات مثبت و معنی‌دار کاربرد کود زیستی تیوباسیلوس (باکتری اکسید کننده گوگرد) بر عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد زیست‌توده و وزن هزار دانه کتان روغنی توسط شعبانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. اکسیداسیون گوگرد در خاک توسط طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های خاکی صورت می‌گیرد. باکتری-های جنس تیوباسیلوس مهم‌ترین آن‌ها محسوب می-شوند. این باکتری‌ها با اکسیده کردن گوگرد در خاک-های آهکی و قلیایی می‌توانند در کاهش واکنش خاک و اصلاح خاک، تامین سولفات مورد نیاز گیاه، انحلال برخی از عناصر غذایی و افزایش قابلیت جذب آنها موثر واقع شوند (شعبانی و همکاران ۲۰۱۵).

صادقیان دهکردی و تدین (۲۰۱۷) نیز گزارش نمودند که تنش خشکی اکثر صفات مورد اندازه‌گیری از جمله عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد کپسول در بوته را به طور معنی‌دار کاهش داد، اما پیش‌تیمار بذر با کودهای زیستی (ازتوبارور ۱ و ازتوبارور ۲) تاثیر مثبتی بر صفات اندازه‌گیری شده داشت و اثرات منفی تنش خشکی را تا حدودی جبران کرد. باکتری‌های محرک رشد گیاه با تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد زیستی فعال باعث افزایش رشد رویشی و به دنبال آن تعداد شاخه جانبی و تعداد کپسول در بوته می‌شوند (خرم‌دل و همکاران ۲۰۱۱). کربلایی ولیها و دانشیان (۲۰۱۳) نشان دادند که اثر کود ورمی‌کمپوست و تلقیح بذر با باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه بر عملکرد و اجزا آن در کتان روغنی معنی‌دار بود. استفاده از باکتری‌های آزوسپیریلیوم و سودوموناس به تنهایی و به صورت ترکیبی توانستند سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شوند. در آزمایشی دیگر که به منظور بررسی و مقایسه تاثیر دوگونه قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* برمیزان روغن و عملکرد کتان روغنی در شرایط تنش خشکی انجام شد (رحیم‌زاده و پیرزاد ۲۰۱۷)، نتایج نشان دادند که با افزایش فاصله آبیاری‌ها عملکرد دانه و روغن به صورت معنی‌دار کاهش یافت و در تنش خیلی شدید به کمترین مقدار خود رسید و استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه عملکرد دانه و روغن را به طور معنی-دار افزایش دادند. این محققین گزارش کردند که تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و پیری زودرس باعث افت عملکرد دانه می‌شود. در حالی که مصرف متعادل آب در مراحل نمو و از طرفی کاربرد باکتری-های محرک رشد گیاه منجر به بیشتر شدن طول دوره رسیدگی و بهبود عملکرد شد. همزیستی باکتری‌های محرک رشد با ریشه کتان از طریق ایجاد شرایط مناسب تغذیه‌ایی، سبب بهبود جذب آب، رشد گیاه و افزایش عملکرد دانه و متقابلاً عملکرد روغن می‌شود. در آزمایش دیگری که توسط تدین و سلطانیان (۲۰۱۶) به منظور بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزای آربوسکولار بر برخی از خصوصیات زراعی کتان روغنی در شرایط تنش خشکی در منطقه شهرکرد انجام شد، نشان دادند که همزیستی این قارچ با ریشه بزرک در شرایط تنش خشکی توانست موجب کاهش خسارت به خصوصیات رشدی کتان روغنی در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی شود. با توجه به محدودیت منابع آب کشور، نیاز آبی کم گیاه کتان و خصوصیات تغذیه‌ای، دارویی و صنعتی این گیاه، این تحقیق به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر و مخصوصاً کاربرد سویه‌های مختلف ریزوباکتری تحریک کننده رشد گیاه در شرایط تنش خشکی پس از گلدهی بر عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در دو رقم کتان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با طول جغرافیایی۴۷ درجه و ۹ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر، میانگین بارندگی سالیانه ۴۸۰-۴۵۰ میلی متر و با اقلیم سرد معتدل در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. به منظور انتخاب بهترین سویه‌های ریزوباکتری تحریک کننده رشد گیاه ۱۲ سویه از بهترین سویه‌های کلکسیون گروه گیاهپزشکی دانشگاه رازی تهیه شدند. کلیه سویه‌های باکتری بومی منطقه آب و هوایی کرمانشاه بوده و از خاک‌های این منطقه جمع‌آوری شده بودند. در ادامه با توجه به محدودیت‌های موجود و به منظور انتخاب بهترین سویه های باکتری و رساندن تعداد آنها به پنج مورد، آزمایش گلخانه‌ای طراحی شد. در این آزمایش بذر هر دو رقم مورد بررسی با هر ۱۲ سویه باکتری تلقیح شدند. به منظور تلقیح بذر، هفت میلی‌لیتر مایهٔ تلقیح که هر میلی لیتر آن حاوی 10^9 عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده شد. همچنین از محلول نیم درصد متیل سلولز برای چسبندگی بهتر مایهٔ تلقیح به بذرها استفاده شد. کلیهٔ عملیات در محیط سایه و دور از نور آفتاب انجام گرفت و بذرها پس از خشک شدن در شرایط قطع آبیاری پس از گلدهی و عدم قطع آبیاری (شاهد) کشت شدند. در زمان رسیدگی تکنولوژیک بر اساس عملکرد دانه و زیست‌توده، پنج سویه از باکتری-های تحریک کننده رشد گیاه انتخاب شدند. پنج سویه انتخاب شده عبارت بودند از: *Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus sp.*، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Pseudomonas geniculate*. بررسی مزرعه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل سه عاملی و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از: ۱) رقم در دو سطح شامل: رقم هندی و رقم مجاری، ۲) پیش تیمار بذر در هشت سطح شامل: پنج سطح باکتری(*Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus sp.*، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Pseudomonas geniculate*) و پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم، پیش-تیمار بذر با آب مقطر و عدم پیش‌تیمار بذر (تیمار شاهد) و ۳) تیمار رطوبتی در دو سطح شامل: شاهد و قطع آبیاری از ابتدای گلدهی تا پایان فصل رشد بود. کشت مزرعه‌ای پس از آماده‌سازی و تسطیح کامل زمین، در تاریخ ۲۳ اسفندماه و به صورت ردیفی انجام شد. در هر کرت، چهار خط چهار متری با فاصله خطوط کاشت ۲۲/۵ سانتی‌متر وجود داشت. عمق کاشت مورد استفاده دو سانتیمتر و فاصله بوته‌ها یک سانتی‌متر بود. به منظور تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه از روش ذکر شده در قسمت آزمایش گلخانه‌ای استفاده شد. برای انجام پیش‌تیمار بذر با آب مقطر و نیترات پتاسیم، مقدار بذر مورد نظر به مدت شش ساعت درون آب مقطر و محلول نیترات پتاسیم(۵۰۰ پی‌پی‌ام) به صورت مجزا در محفظه‌ی مناسب و در دمای ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفت و در مدت مذکور به دقت هوادهی انجام شد. بعد از مدت زمان تعیین شده بذرها را از محلول‌ها خارج نموده و پس از شستشو با آب مقطر، جهت خشک کردن در مجاورت جریان ملایم هوا قرار داده شدند. لازم به ذکر است که زمان شش ساعت جهت پرایم بذر پس از در نظر گرفتن زمان‌های مختلف و بررسی آن‌ها، انتخاب گردید. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد و نمو گیاه به صورت دستی انجام شد. به منظور اندازه گیری صفات، در زمان رسیدگی تکنولوژیک از هر خط ده بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و اصلی، تعداد کپسول‌های پر و خالی در بوته و تعداد دانه درکپسول در آنها اندازه گیری شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه از هر کرت یک متر مربع برداشت شده و بعد از حذف از ناحیه یقه و خشک شدن کل اندام‌های هوایی، با ترازوی حساس

اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت در هر کرت از طریق تقسیم نمودن عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک آن کرت به دست آمد. به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه از نمونه جمع‌آوری شده جهت تخمین عملکرد دانه، به طور تصادفی سه تکرار ۱۰۰۰ تایی انتخاب شد و بعد از توزین با ترازوی حساس برحسب گرم، از سه عدد به دست آمده میانگین‌گیری شد. در ادامه پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها توسط نرم افزار Minitab، با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه آنها انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیرتیمارهای رژیم رطوبتی، پیش‌تیمار، اثر متقابل رقم در پیش‌تیمار (در سطح یک درصد) و اثر متقابل محیط در پیش‌تیمار (در سطح پنج درصد) قرار گرفت (جدول ۱). رقم‌های کتان مورد بررسی در این تحقیق در شرایط شاهد از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل ۱ ب). اعمال تنش خشکی بعد از گلدهی عملکرد دانه هر دو رقم را نسبت به محیط کنترل به طور معنی‌دار (۹۷۹ کیلوگرم در هکتار معادل ٤٤ درصد) کاهش داد (شکل ۱ الف). عملکرد نهایی بستگی به نمو موفقیت‌آمیز گل‌ها، باروری آن‌ها، تکوین رویان و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه دارد. هر کدام از این فرایندها نیازمند عرضه مستمر مواد پرورده است. تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، کاهش جذب تابش فعال فتوسنتزی، کاهش کارایی مصرف نور، اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌شود (ارل و داویس، ۲۰۰۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، اجزای آن و برخی صفات مرتبط دو رقم کتان در شرایط استفاده از پیش تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	تعداد کپسول پوک
رژیم رطوبتی	۱	۲۲۹۹۵۰٤٦**	۲۳۱٤٥٥٦۱٦**	٦/۲٦^{ns}	۳۸۱۹**	۰/۰۱۳^{ns}	۱٤٤۷۰۸**	۸/۳۰**	۹۷/٤**
بلوک*رژیم رطوبتی	٤	۲۱۲۳	۱۷٤۱۳۸۱	۲۷/٤	۱٥۳	۱/٥۳	۳۳۳۲	۰/۲۷٥	۲/٤۹
رقم	۱	۱۲٤۹^{ns}	٦۱۱٦۱۳۸۸**	۲۲٤۲**	۲۰٦٥**	۱۲/۸**	٦۱۳۰۷**	۱/٤۰**	۱۲/۹۸**
رژیم رطوبتی*رقم	۱	٦۹۱^{ns}	۱۲۸۱٤٦۲۹**	٦٥/٤^{ns}	۱٤۰۱**	۱/٤۳^{ns}	٦۲۰۷۷**	۰/۱۹٦*	۲۰/۸۱**
خطای a	٤	۱٤۹۳۸	۱٥۳۰۹۳	٤/٤۸	۱٦۳	۱/۱٤	۱٤۷۲٥	۰/۰٥۸	۱/۲۲
پیش تیمار	۷	۱۷۰۳۲۳**	۲۰٦۲٥٤^{ns}	۱۰۷**	۱۰۹^{ns}	٤/۱٦**	۱۲٦۱۲**	۰/۲۹۷**	٥/٥٥**
رقم*پیش تیمار	۷	۹۲٦٦۸**	٥۰۸۲٥۹^{ns}	۷/٥ ^{ns}	٦۱/۷^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۳٦٤٥^{ns}	۰/۰۹۱^{ns}	۱/۱۸^{ns}
رژیم رطوبتی*پیش تیمار	۷	٤۲۸۹۷*	۳۹۷۰۰۸^{ns}	۸/۰٤^{ns}	۳۰/۲^{ns}	۰/۷۱^{ns}	۲۲٥۱^{ns}	۰/۰۹٥*	۱/۰۳^{ns}
رژیم رطوبتی*رقم*پیش تیمار	۷	٤٦۷٥۱*	۳٦۰۳۲٤^{ns}	۷/۷۹^{ns}	٦۸/۸^{ns}	۱/۱۸^{ns}	۲۳۳٤^{ns}	۰/۰٤۹^{ns}	۱/٥۰^{ns}
خطای b	٥٦	۱٦۰۲٤	٥۸۹٤۳۹	۲۲/۹	۷۷/۱	۰/۷٤	۳٦۹۲	۰/۰٤	۱/۰۹
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۲۹	۱٤/٦	۱۳/۹	۳۳/٦	۱۱/۳	۳۳/۲	٤/٥۰	٥۲/۳

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال یک درصد، پنج درصد و بدون اختلاف معنی‌دارمی باشد.

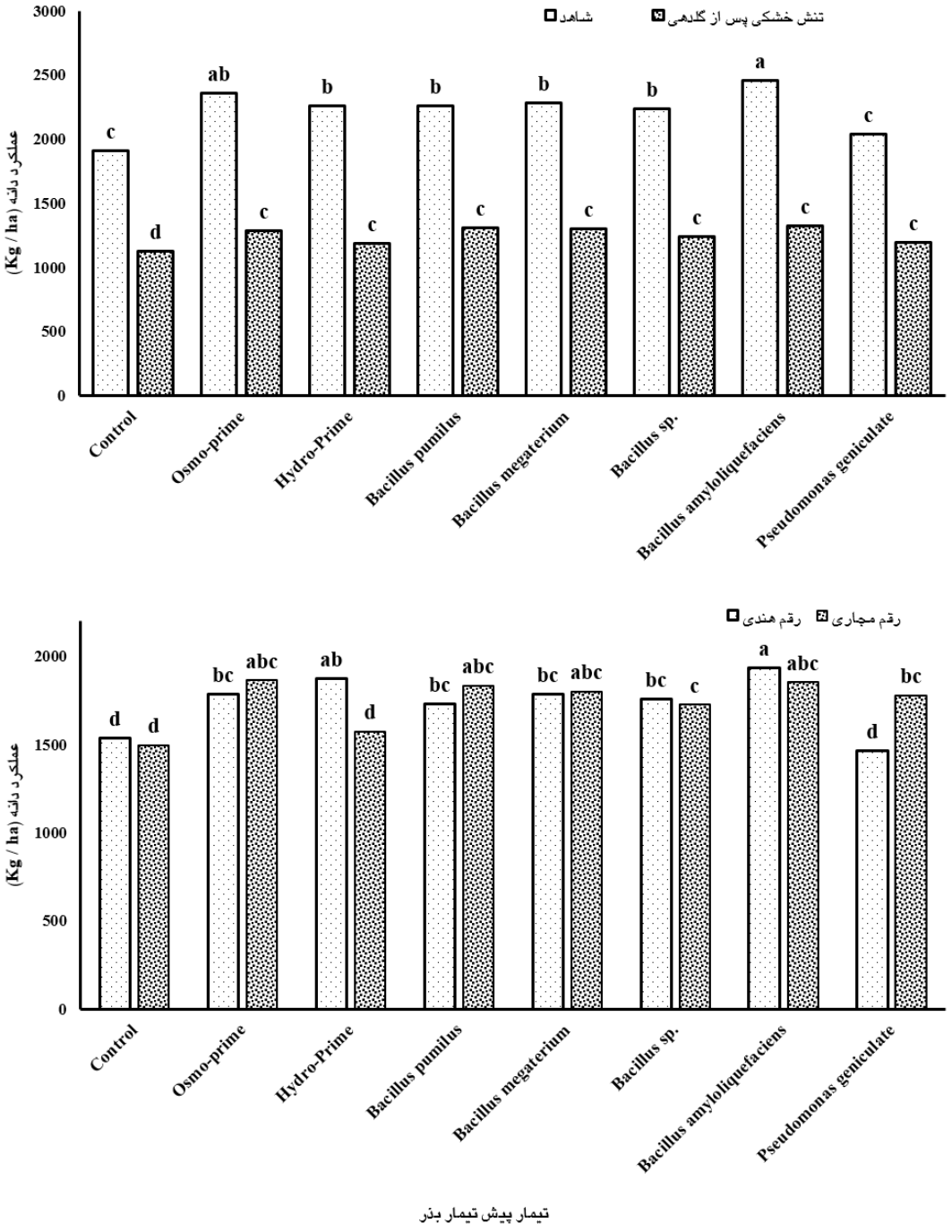
سایر تیمارهای پیش‌تیمار بذر در شرایط اعمال تنش خشکی پس از گلدهی و شاهد به غیر از تیمار تلقیح بذر با باکتری *Pseudomonas geniculata* در شرایط شاهد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با تیمار

شاهد شدند (شکل ۱الف). به طوری که کمترین مقدار عملکرد دانه به میزان ۱۹۰۸ کیلوگرم در هکتار با کاشت بذور تیمار در شرایط شاهد به دست آمد.

پیش تیمار بذر با نیترات پتاسیم، آب مقطر و تلقیح بذر با باکتری‌های *Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium* ، *Bacillus sp.* و *Bacillus amyloliquefaciens* عملکرد دانه را نسبت به بذور تیمار شاهد به ترتیب به میزان ٤٥٢، ٣٥٢، ٣٥٠، ٣٧٥، ٣٣١ و ٥٥٣ کیلوگرم در هکتار افزایش دادند. بیشترین عملکرد دانه به میزان ٢٤٦١ کیلوگرم در هکتار متعلق به بذور تلقیح شده با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* بود. باکتری‌های جنس سودوموناس و باسیلوس از مهم‌ترین باکتری‌های حل کننده فسفات هستند که قادرند فسفر نامحلول خاک را به فرم محلول قابل دسترس گیاه تبدیل کنند (تایلک و همکاران ۲۰۰۵). این باکتری‌ها از طریق افزایش حلالیت فسفات، بازداری تولید اتیلن و افزایش انتقال اکسین از ساقه به ریشه باعث توسعه سیستم ریشه می‌شوند (شریفی و ریو ٢٠١٦). اختلاف عملکرد دانه بین سایر سطوح پیش‌تیمار معنی‌دار نبود. در شرایط اعمال تیمار تنش خشکی پس از گلدهی سایر روش‌های اعمال پیش-تیمار بذر سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم پیش‌تیمار) شدند (جدول ٤-٦). به طور کلی قطع آبیاری بعد از گلدهی نسبت به تیمار شاهد، اثر مثبت پیش‌تیمارها بر عملکرد دانه را کاهش داد. با این حال پیش تیمار بذر از طریق کاهش اثرات منفی تنش خشکی به افزایش عملکرد دانه نسبت به بذور شاهد منجر شد. پرایم بذر با آب مقطر شرایط متابولیک مناسبی را در بذر به وجود می‌آورد. از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌هایی از قبیل آمیلاز، پروتئاز و لیپاز که نقش عمده‌ای در رشد و توسعه اولیه جنین دارند. مجموعه این شرایط علاوه بر تسریع جوانه‌زنی، باعث توسعه بهتر ریشه، اندم هوایی و استقرار سریع‌تر و مطلوب‌تر گیاهچه در مزرعه می‌شود و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود (علایی‌طباطبایی و همکاران ۲۰۱۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم وپیش‌تیمار بذر بر عملکرد دانه نشان دادکه در مورد رقم هندی، عملکرد دانه بذور تلقیح شده با باکتری *Pseudomonas geniculata* و عملکرد دانه به دست آمده از شرایط شاهد (بدون پیش تیمار) به ترتیب با ١٤٦٢ و ١٥٣٦ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر سطوح پیش‌تیمار، کمترین عملکرد را داشتند. از طرفی با تلقیح بذر توسط باکتری*Bacillus amyloliquefaciens* و هیدروپرایم (پرایم بذر با آب مقطر) بیشترین مقدار عملکرد دانه (به ترتیب ۱۹۳۳ و ١٨٧٦ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۱ب).

رقم مجاری در تیمارهای شاهد و هیدروپرایم با میانگین ١٤٩٧ و ١٥٧٥ کیلوگرم دانه در هکتار، کمترین میزان عملکرد دانه را تولید نمود. اختلاف عملکرد دانه بین سایر سطوح پیش‌تیمار با ١٧٢٥ تا ١٨٦٣ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود. البته اسموپرایم و سایر تیمارهای باکتریایی بذر عملکرد دانه را نسبت به دو تیمار ذکر شده به طور معنی‌دار افزایش دادند (شکل ۱ب). با توجه به نتایج به دست آمده در این بررسی تفاوت واکنش دو رقم مورد بررسی به سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر را شاید بتوان به تفاوت ژنتیکی بین دو رقم مورد بررسی نسبت داد.



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تنش خشکی پس از گلدهی و رقم (الف) و پیش‌تیمار بذر و رقم (ب) برای عملکرد دانه کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی

ستون‌ها با حروف یکسان با توجه به روش مقایسه میانگین LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. Osmo-prime: پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم ۵۰۰ پی‌پی‌ام و Hydro-prime: پیش‌تیمار بذر با آب.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر پیش تیمار بذر بر عملکرد دانه، اجزای آن و برخی صفات مرتبط دو رقم کتان در شرایط استفاده از پیش تیمار بذرو اعمال تنش خشکی پس از گلدهی.

تیمار		عملکرد دانه ($kg.\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (%)	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	تعداد کپسول پوک
	Control	۱۵۱۶^{c}	۲۸/۸^{d}	٦/۳۳^{c}	۱۲۱^{c}	٤/۲۷^{b}	۳/۵۲^{a}
	Osmo-prime*	۱۸۲۳^{ab}	۳٦/۳^{ab}	۷/۷۲^{ab}	۱۸۲^{b}	٤/۷۲^{a}	۱/٤۷^{b}
	Hydro-Prime⅄	۱۷۲۵^{b}	۳٤/۱^{bc}	۷/٦۷^{ab}	۱۷۰^{bc}	٤/۷۳^{a}	۱/۸۸^{b}
پیش تیمار	*Bacillus pumilus*	۱۷۸۳^{b}	۳٤/۹^{bc}	۷/۷۷^{ab}	۱۸۳^{b}	٤/٦۹^{a}	۱/٤۳^{b}
	Bacillus megaterium	۱۷۹۳^{ab}	۳۳/۷^{bc}	۷/۹۸^{ab}	۲۳۳^{a}	٤/٦۰^{a}	۲/۱۲^{b}
	Bacillus sp.	۱۷٤۲^{b}	۳۵/٤^{abc}	۷/۹٦^{ab}	۲۱۱^{ab}	٤/٦٦^{a}	۲/۱۲^{b}
	Bacillus amyloliquefaciens	۱۸۹۲^{a}	۳۹/۱^{a}	۷/۳۹^{b}	۱۷۵^{b}	٤/۷۵^{a}	۱/٤٦^{b}
	Pseudomonas geniculate	۱٦۲۰^{c}	۳۲/۳^{cd}	۸/۲۸^{a}	۱۸۸^{ab}	٤/٦٦^{a}	۲/۰۲^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. * پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم ۵۰۰ پی‌پی‌ام و ⅄ پیش‌تیمار بذر با آب.

اثرهای رژیم رطوبتی، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). علی‌رغم تأثیر مثبت پیش تیمار بذر بر عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده تحت تأثیر سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر قرار نگرفت (جدول ٤-۱). بنابراین به نظر می‌رسد تأثیر مثبت پیش تیمار بذر بر تولید دانه، به چگونگی تسهیم مواد فتوسنتزی بین اجزای مختلف گیاه مربوط است. در هر دو محیط شاهد و تنش خشکی پس از گلدهی، زیست‌توده رقم مجاری نسبت به رقم هندی برتری داشت که احتمالاً مربوط به اختلاف مورفولوژیک دو رقم است. در محیط کنترل، عملکرد زیست‌توده رقم هندی و مجاری به ترتیب ٥٦٤٨ و ۷۹۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. تنش خشکی بعد از گلدهی عملکرد زیست‌توده ارقام هندی و مجاری را به ترتیب ٤۲/۰۵ و ٤۸/۱۱ درصد نسبت به محیط کنترل کاهش داد (جدول ٤). کمبود آب مانع از آن می‌شود که وزن زیستی گیاه به حداکثر خود برسد که این کاهش می‌تواند به دلیل اثر تنش خشکی بر فتوسنتز باشد. عملکرد زیست‌توده بیانگر این است که گیاه چه مقدار از فتوسنتز حقیقی را قادر است به صورت فتوسنتز خالص درآورد. افزایش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی باعث کاهش ورود دی‌اکسید کربن می‌شود. تحت‌تأثیر این حالت فتوسنتز ظاهری و وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد (مجیدیان و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه لاولر وکرنیک (۲۰۰۲) نیز وزن خشک اندام‌های هوایی به واسطه تنش خشکی کاهش یافت. ریزش شاخه، برگ و کپسول‌های روی بوته‌ها در اثر قطع آبیاری بعد از گلدهی نیز یکی از دلایل کاهش عملکرد زیست‌توده در مقایسه با محیط کنترل است.

اثر رقم و سطوح پیش‌تیمار (در سطح یک درصد) بر شاخص برداشت معنی‌دار بودند(جدول ۱). تنش خشکی اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت. این موضوع ممکن است به دلیل واکنش یکسان وزن خشک کل و عملکرد دانه به وقوع تنش خشکی بعد از گلدهی باشد. به عبارت دیگر قطع آبیاری وزن خشک کل و عملکرد دانه را به یک نسبت تحت تأثیر قرار داده است. با این وجود صادقیان‌دهکردی و تدین (۲۰۱۷) کاهش شاخص برداشت کتان روغنی در شرایط وقوع تنش خشکی را گزارش کردند.

سایر پیش تیمارهای بذر به غیر از پیش تیمار با باکتری *Pseudomonas geniculata* سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در مقایسه با تیمار شاهد شدند. در این شرایط بیشترین افزایش شاخص برداشت در تیمار بذر با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* دیده شد (جدول ۲). با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار سطوح پیش-تیمار بر عملکرد زیست‌توده ارقام هندی و مجاری، دلیل تفاوت شاخص برداشت بین سطوح مختلف پیش تیمار، احتمالاً تغییر در جریان شیره پرورده و مواد ذخیره‌ای به سمت دانه‌ها و تغییر عملکرد دانه تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر با ترکیبات و باکتری‌های مختلف است. عباس‌دخت و همکاران (۲۰۱۳) نیز دلیل افزایش شاخص برداشت در نتیجه پرایمینگ بذر را تحریک انتقال بیشتر ماده خشک به بخش‌های زایشی عنوان کردند.با توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین عملکرد دانه این دو رقم، دلیل کمتر بودن شاخص برداشت رقم مجاری نسبت به رقم هندی عملکرد زیست‌توده بیشتر آن نسبت به رقم هندی است. رقم مجاری دارای ارتفاع بوته و شاخه‌های اصلی و فرعی بیشتری بود (جدول ۳). در کل به نظر می‌رسد که رقم هندی نسبت به رقم مجاری توانایی بیشتری در اختصاص مواد فتوسنتزی به عملکرد اقتصادی دارد. دلیل این موضوع احتمالاً به دلیل تفاوت ژنتیکی بین دو رقم مورد بررسی در چگونگی تسهیم ماده خشک بین اندام‌های هوایی است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رقم بر شاخص برداشت و تعداد دانه در کپسول کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذرو اعمال تنش خشکی پس از گلدهی.

	تیمار	شاخص برداشت (%)	تعداد دانه در کپسول
رقم	هندی	۳۹/۲^{a}	۸/۱۰^{a}
	مجاری	۲۹/۵^{b}	۷/۲۷^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

اثرهای رژیم رطوبتی، رقم و اثر متقابل آن‌ها (در سطح یک درصد) بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد کپسول در بوته در رقم مجاری و در شرایط کنترل رطوبتی با ٤١ کپسول در بوته دیده شد. تعداد کپسول در بوته رقم هندی در این شرایط به طور معنی‌داری کمتر بود (۲۰ کپسول در بوته). قطع آبیاری بعد از گلدهی تعداد کپسول در بوته‌های رقم مجاری را به طور معنی‌داری کاهش داد (۲۰/۳ عدد کاهش تعداد کپسول در بوته، معادل ٤٩/٥ درصد کاهش در مقایسه با محیط کنترل). اما تأثیر قطع آبیاری بر تعداد کپسول در رقم هندی معنی‌دار نبود (٥ عدد کاهش کپسول در بوته، معادل ۲۰/۷ درصد کاهش در مقایسه با محیط کنترل) (جدول ٤). بنابراین تعداد کپسول در بوته‌های رقم هندی در مقایسه با رقم مجاری از ثبات بیشتری در مواجه با خشکی انتهای فصل رشد برخوردار بود. دیواره کپسول در حال رشد با دانه‌های در حال توسعه، برای جذب مواد فتوسنتزی به شدت رقابت می‌کنند. در اثر وقوع تنش، این رقابت بیشتر شده و منجر به ریزش تعدادی از کپسول‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (سیرت و همکاران، ۱۹۸۷). در این آزمایش به نظر می‌رسد وجود آب کافی تا مرحله شروع گلدهی، باعث رشد رویشی مناسب و تشکیل تعداد زیادی گل در بوته‌های رقم مجاری شده است. اما پس از قطع آبیاری، تولیدات فتوسنتزی

نتوانستند پاسخ‌گوی این تعداد گل باشد. بنابراین احتمالاً به علت ریزش تعدادی از گل‌ها و کپسول‌ها در محیط تنش، تعداد نهایی کپسول نسبت به محیط کنترل کاهش یافته است. ریزش شاخه‌های اصلی و فرعی بوته‌های رقم مجاری به دلیل اعمال تنش خشکی بعد از گلدهی نیز یکی از دلایل کاهش تعداد نهایی کپسول در محیط تنش نسبت به محیط کنترل است. در شرایط مناسب محیطی، رقم هندی در مقایسه با رقم مجاری از پتانسیل کمتری برای تشکیل گل و کپسول برخوردار است. بنابراین در صورت وقوع تنش خشکی در انتهای فصل رویش، احتمالاً تعادل بین منبع (تولیدات فتوسنتزی) و مخزن (کپسول و دانه‌های در حال رشد) تا حدودی حفظ شده و ریزش کمتر بود. صادقیان‌دهکردی و تدین (۲۰۱۷) و امیدبیگی و همکاران (۲۰۰۱) اثر مثبت آبیاری بر تشکیل تعداد بیشتری کپسول در بوته‌های کتان و صادقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۳) کاهش تعداد غلاف بوته‌های کلزا در اثر قطع آبیاری بعد از گلدهی را گزارش کردند.

اثرهای رقم و پیش‌تیمار بر تعداد دانه در کپسول (در سطح یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۱). عدم تأثیر معنی‌دار محیط تنش خشکی در مقایسه با محیط کنترل بر این صفت می‌تواند نشان دهنده ثبات نسبی این جزء از عملکرد دانه در مقابل تغییرات شرایط محیطی باشد. در رقم هندی، هر کپسول به طور متوسط حاوی هشت دانه بود. این مقدار برای رقم مجاری با اختلاف معنی‌دار نسبت به رقم هندی ۷/۲۷ عدد بود (جدول ۳). همانطور که گفته شد تعداد کپسول در بوته رقم مجاری نسبت به رقم هندی به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۳)، بنابراین به نظر می‌رسد که به دلیل خاصیت جبران‌پذیری بین اجزای عملکرد، در زمان تشکیل دانه در کپسول‌های رقم مجاری رقابت بیشتری بین این مخازن فیزیولوژیک (کپسول‌ها) وجود داشته و در نهایت تعداد دانه کمتری در هر کپسول تولید شده است.

در رابطه با اثر پیش‌تیمار، کمترین تعداد دانه در کپسول در تیمار شاهد دیده شد (٦/٣٣ عدد) (جدول ۲). پیش تیمار بذر با مواد و باکتری‌های مختلف منجر به افزایش معنی‌دار این جزء از عملکرد شد. بوته‌های حاصل از بذرهای تلقیح شده با باکتری *Pseudomonas geniculata*، با وجود کمترین تعداد کپسول در بین سطوح مختلف پیش تیمار (٢٤/٦٤ عدد)، بیشترین تعداد دانه در کپسول را تولید کردند (٨/٢٨ عدد) که در بین سطوح پیش تیمار تنها با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* (٧/٣٩ عدد) اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ٤-٤). خسروی و همکاران (٢٠١٤) تأثیر باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر بر افزایش تولید دانه را، با نقش مؤثر این باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن و در اختیار گذاشتن آن با مراحل حساس نیاز کودی مرتبط می‌دانند. اثر مثبت تلقیح بذر با کودهای زیستی در افزایش تعداد دانه در غلاف کلزا (حسن‌زاده‌قورت‌تپه و جوادی ٢٠١٦) و طبق آفتابگردان (خسروی و همکاران، ٢٠١٤) گزارش شده است.

تعداد دانه در بوته که حاصل‌ضرب دو جزء کوچک‌تر عملکرد یعنی تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول است، به طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمار و اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ۱). در محیط کنترل، میانگین تعداد

جدول ۴- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تنش خشکی پس از گلدهی و رقم بر تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول پوک، وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذرو اعمال تنش خشکی پس از گلدهی

رژیم رطوبتی	رقم	تعداد کپسول در بوته	تعداد کپسول پوک	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در بوته
کنترل	هندی	۲٤/۰^{b}	۲/۲^{b}	٤/۹^{a}	۱۷۱^{b}
	مجاری	٤۰/۹^{a}	۳/۸^{a}	٥/۰^{a}	۲۷۳^{a}
تنش	هندی	۱۹/۰^{b}	۱/۱^{c}	٤/۲^{c}	۱٤٤^{b}
	مجاری	۲۰/٦^{b}	۰/۹^{c}	٤/٥^{b}	۱٤٤^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

دانه در هر بوته ارقام هندی و مجاری به ترتیب ۱۷۱ و ۲۷۳ عدد بود. دلیل این موضوع تولید به طور متوسط ۱۷ کپسول بیشتر در بوته‌های رقم مجاری نسبت به رقم هندی در محیط کنترل بود (جدول ٤). کاهش تعداد دانه در بوته به واسطه قطع آبیاری بعد از گلدهی در بوته‌های رقم هندی معنی‌دار نبود. اما اثر آن بر کاهش تعداد دانه در بوته‌های رقم مجاری معنی‌دار بود (۱۲۸/٦ عدد، معادل ٤۷/۲ درصد کاهش نسبت به محیط کنترل)، (جدول ٤). بنابراین مشابه با تعداد کپسول در بوته، به نظر می‌رسد که تعداد دانه در بوته رقم هندی نیز در مقایسه با رقم مجاری، از ثبات بیشتری در مواجه با خشکی انتهای فصل رشد برخوردار باشد. در اثر تنش خشکی به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، عدم توسعه مادگی، تشدید پدیده عقیمی و سقط جنین تعداد دانه در بوته کاهش می‌یابد. هر چند که در این آزمایش، با توجه به عدم تأثیر تنش بر تعداد دانه در کپسول ارقام هندی و مجاری، دلیل اصلی کاهش تعداد دانه در بوته، کاهش تولید کپسول و ریزش شاخه‌ها و کپسول‌ها در این شرایط است. کاهش تعداد دانه در بوته‌های کتان در اثر تنش خشکی توسط صادقیان‌دهکردی و تدین (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است.

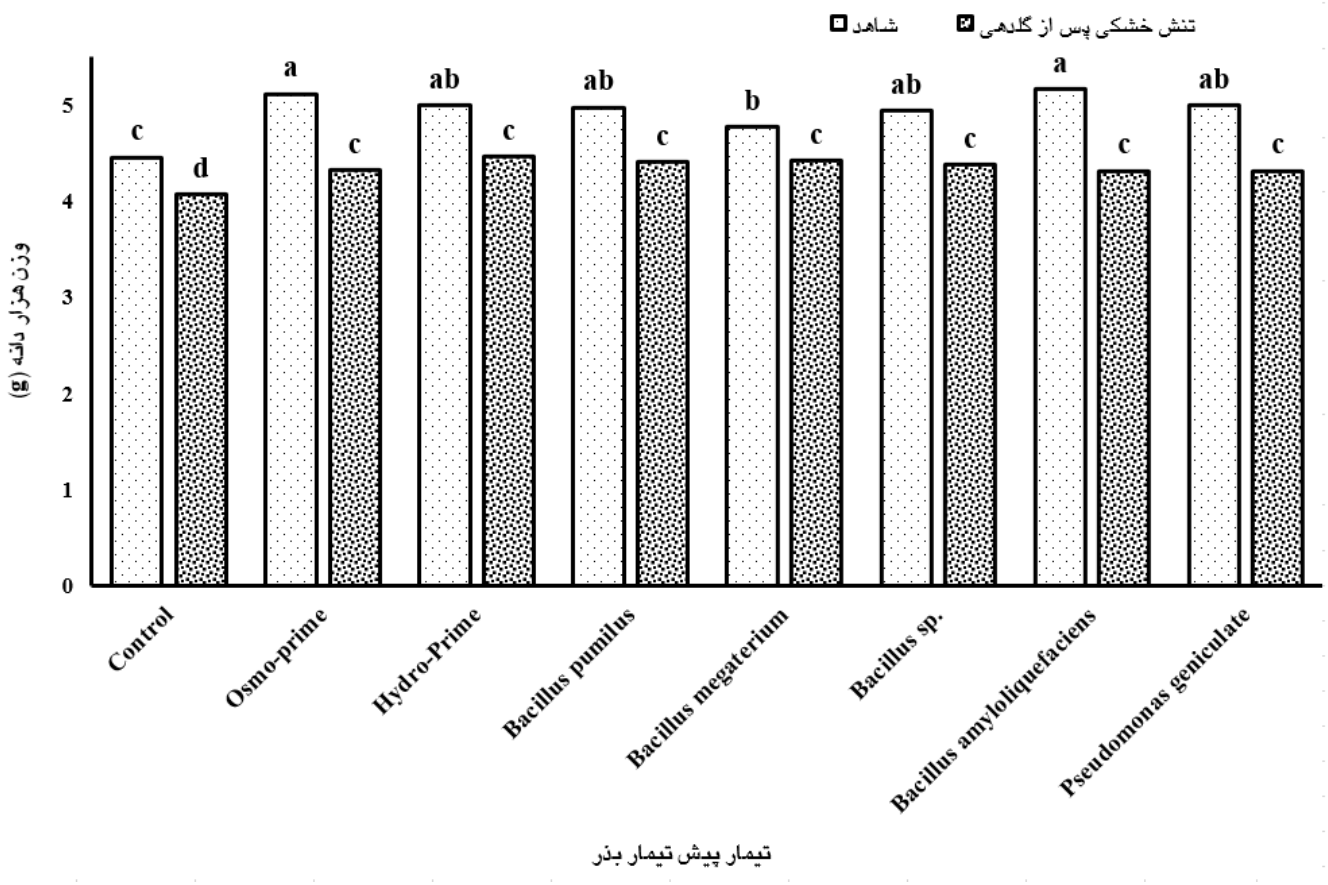
بیشترین تعداد دانه به میزان ۲۳۳ عدد در بوته‌های حاصل از بذرهای تلقیح شده با باکتری *Bacillus megaterium* تولید شد. بوته‌های حاصل از بذرهای شاهد (بدون پیش تیمار)، کمترین تعداد دانه در بوته را داشتند (۱۲۱/۲ عدد). به طور کلی پیش‌تیمار بذر منجر به تولید تعداد بیشتری دانه در بوته نسبت به بذور شاهد شد، به گونه‌ای که پیش تیمار با نیترات پتاسیم، آب و تلقیح بذر با باکتری‌های *Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus sp.*، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Pseudomonas geniculata* تعداد دانه در بوته را نسبت به بذور شاهد به ترتیب به میزان ٦۰/٥، ٤۸/۸، ٦۲/۱، ۱۱۲/۱، ۸۹/۳، ٥۳/۸ و ٦٦/٤ عدد افزایش داد (جدول ۲). پیش‌تیمار بذر احتمالاً از طریق بهبود دسترسی به عناصر غذایی، موجب افزایش شاخص سطح برگ، بهبود فتوسنتز و افزایش فراهمی مواد پرورده برای کپسول و دانه‌های در حال رشد می‌شود. در این شرایط به دلیل کاهش رقابت دانه‌ها برای عناصر غذایی تعداد دانه در بوته افزایش می‌یابد.

اثرهای رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمار (در سطح یک درصد) و اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم و رژیم رطوبتی در پیش‌تیمار (در سطح پنج درصد) بر وزن هزار دانه معنی‌دار بودند (جدول ۱). میانگین وزن هزار دانه ارقام هندی و مجاری در محیط کنترل بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، به ترتیب ٤/۹ و ٥ گرم به دست آمد. اعمال تنش خشکی بعد از گلدهی منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در هر دو رقم شد. افت وزن دانه‌های رقم هندی (۰/٦۸ گرم) در اثر خشکی، از

رقم مجاری (۰/۵ گرم) شدیدتر بود (جدول ٤). وزن دانه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین کننده عملکرد می‌باشد که با سرعت و مدت پر شدن دانه در ارتباط است. زمانی که گیاه در دوره‌های مختلف رشد، تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد ترکیبات ذخیره شده در اندام‌های هوایی نقش مهمی در پر کردن دانه‌ها ایفا می‌کنند (کاظمی‌پشت مساری و همکاران ۲۰۰۹). به‌عبارت دیگر، طول دوره پر شدن دانه، سرعت فتوسنتز و میزان انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها بر این صفت مؤثر می‌باشند.

پیش‌تیمار بذر در مقایسه با بذور شاهد (بدون پیش تیمار) به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه منجر شد. میانگین وزن هزار دانه به دست آمده از بذرهای پرایم شده با نیترات پتاسیم،آب مقطرو بذرهای تلقیح شده با سویه‌های مختلف باکتری (بین ٤/٦ تا ٤/٧٥ گرم) بدون اختلاف با یکدیگر بودند. کمترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد (٤/٢٧ گرم) به دست آمد (جدول ۲). در رابطه با اثر متقابل رژیم رطوبتی در پیش‌تیمار، قطع آبیاری بعد از گلدهی در مقایسه با شرایط کنترل وزن هزار دانه به دست آمده از بذرهای شاهد، پرایم شده با نیترات پتاسیم، آب مقطر و تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus pumilus*، *Bacillus megaterium* ، *Bacillus sp.* ، *Bacillus amyloliquefaciens* و *Pseudomonas geniculata* را به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۷۹، ۰/۵۳، ۰/۵۷، ۰/۳٤، ۰/۵٦ ۰/۸۵ و ۰/٦۸ کاهش داد. پیش تیمار بذر در هر دو محیط منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در مقایسه با بذور شاهد شد. به طوری که در هر دو محیط کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد بود (به ترتیب حدود ٤/٤٦ و ٤/۰۷ گرم برای محیط کنترل و تنش خشکی). کمترین افت وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به محیط کنترل مربوط به بذور تلقیح شده با باکتری *Bacillus megaterium* بود (۰/۳٤ گرم) (شکل ۲). در آزمایش صادقیان‌دهکردی و تدین (۲۰۱۷) نیز تنش خشکی وزن هزار دانه کتان را کاهش داد، اما پیش تیمار بذر با کودهای زیستی اثرات منفی تنش خشکی بر وزن دانه‌ها را تا حدی جبران کرد. به نظر می‌رسد دلیل اصلی اثر مثبت پیش‌تیمار بر وزن دانه، دسترسی بهتر بذور به آب و عناصر غذایی باشد. با تأمین عناصر غذایی کافی، سرعت رشد برگ‌ها افزایش یافته و برگ‌ها در مدت زمان کمتری نسبت به کمبود عناصر غذایی رشد خود را تکمیل می‌کنند و مواد فتوسنتزی مازاد بر نیاز خود را ذخیره کرده و بعد از گرده‌افشانی به دانه منتقل می‌کنند. به علاوه پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز و دهیدروژناز و فعالیت کاتالاز اندام‌های هوایی را تحت شرایط نامطلوب بهبود می‌دهد و از این طریق اثرات منفی تنش بر رشد و تولید اجزای عملکرد را تقلیل می‌دهد (وزیری‌مهر و همکاران ۲۰۱۳).

تعداد کپسول پوک در بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمار و اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ۱). در محیط کنترل در هر بوته رقم هندی به طور متوسط ۲/۱۷ عدد کپسول پوک وجود داشت. کپسول‌های پوک در هر بوته رقم مجاری به طور متوسط ۳/۸٤ عدد بود که به طور معنی‌داری بیشتر از رقم هندی بود. دلیل این موضوع احتمالاً تعداد بیشتر کپسول تولید شده در هر بوته رقم مجاری در مقایسه با رقم هندی است (به ترتیب ۲٤ و ٤۰/۹۲ عدد برای ارقام هندی و مجاری). با اعمال تنش خشکی بعد از گلدهی احتمالاً به دلیل تولید تعداد کمتری کپسول در بوته نسبت به محیط کنترل و همچنین ریزش شاخه‌ها و تعدادی از کپسول‌ها در اثر تنش خشکی، تعداد کپسول‌های پوک در هر بوته نیز به طور معنی‌داری کاهش یافت (به ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۸۹ برای ارقام هندی و مجاری) (جدول ٤).



شکل ۲- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری پیش‌تیمار بذر و رقم بر وزن هزار دانه کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی. ستون‌ها با حروف یکسان با توجه به روش مقایسه میانگین LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. Osmo-prime: پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم ۵۰۰ پی‌پی‌ام و Hydro-prime: پیش‌تیمار بذر با آب.

پیش تیمار بذر با نیترات پتاسیم، آب مقطر و سویه‌های مختلف باکتری، تعداد کپسول پوک در بوته را در مقایسه با شرایط شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد. بوته‌های به دست آمده از بذور شاهد، بیشترین تعداد کپسول پوک را داشتند (۳/۵۲ عدد در بوته). تعداد کپسول‌های پوک در هر بوته از بذرهای پیش تیمار شده، بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، بین ۱/٤٦ تا ۲/۱۲ عدد متغیر بود (جدول ۲). با توجه به تأثیر مثبت پیش تیمار بذر بر تشکیل دانه، وجود تعداد بیشتری کپسول پوک در بوته‌های حاصل از بذور شاهد طبیعی به نظر می‌رسد.

ارتفاع بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمار و اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ۵). تأثیر تنش خشکی بر ارتفاع بوته رقم هندی، در مقایسه با محیط کنترل معنی‌دار نبود (به ترتیب ۳۵/۰۷ و ۳٦/۷۲ سانتی‌متر). اما بوته‌های رقم مجاری در محیط تنش (٦۰/۳۲ سانتی‌متر) نسبت به محیط کنترل (٦۵/۷۸ سانتی‌متر) به طور معنی‌داری کوتاه‌تر بودند (شکل ۸). ارتفاع نهایی گیاه در زمان رسیدگی تابعی از دو عامل ژنتیک و محیط است (ریزوان و همکاران ۲۰۰۳). در این آزمایش اختلافات ژنتیکی بین دو رقم مورد بررسی منجر به تفاوت خصوصیات

رویشی آن‌ها در واکنش به شرایط یکسان محیطی شده است. کاهش ارتفاع در اثر وقوع خشکی در مرحله رویشی شدیدتر است و هرچه زمان تنش به انتهای فصل رشد نزدیک‌تر باشد تأثیر کمتری بر ارتفاع دارد. با توجه به این که کتان گیاهی رشد نامحدود است، بنابراین در صورت مساعد بودن شرایط امکان رشد رویشی گیاه بعد از گلدهی وجود دارد. در این آزمایش تنش خشکی بعد از گلدهی رشد رویشی بوته‌های رقم مجاری را نسبت به شرایط کنترل کاهش داد. اما در مورد رقم هندی به نظر می‌رسد که تا قبل از گلدهی بوته‌ها به ارتفاع پتانسیل خود رسیده‌اند. به طوری که ادامه آبیاری در شرایط کنترل در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث برتری ارتفاع بوته‌ها نشده است. اثر منفی کمبود آب بر ارتفاع بوته را می‌توان به کاهش فشار تورگر و اثر آن بر تقسیم و توسعه سلول و کاهش تولیدات فتوسنتزی نسبت داد. رشد سلول به در دسترس بودن عناصر غذایی مورد نیاز برای سنتز پروتوپلاسم جدید و دیواره‌های سلول و همچنین فشار تورگر وابسته است، به واسطه کمبود آب کشیدگی و افزایش طول ساقه به سرعت متوقف می‌شود (قوشچی و همکاران ۲۰۰۸).

در رابطه با اثر پیش‌تیمار، ارتفاع بوته‌های حاصل از بذرهای شاهد (بدون پیش تیمار) به طور متوسط ٤٦/١٤ سانتی‌متر بود که به طور معنی‌داری کوتاه‌تر از بوته‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمارشده با ترکیبات و باکتری‌های مختلف بود. بلندترین بوته‌ها با ارتفاع ٥٠/٩٤ سانتی‌متر، در نتیجه تلقیح بذر با باکتری *Bacilus megaterium* تولید شدند، هر چند که در بین سطوح پیش‌تیمار، تفاوت آن تنها با بوته‌های به دست آمده از بذرهای تلقیح شده با باکتری *Bacilus amilolecofises* معنی‌دار بود (جدول ۷). در بوته‌های حاصل از بذرهای پرایم شده با آب و نمک، ساختار غشاء سلولی در مقایسه با بذرهای شاهد وضعیت مطلوب‌تری دارد (عباس‌دخت و همکاران ۲۰۱۳). به علاوه در ساقه این گیاهان فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، اینورتاز و ساکارز سنتتاز بیشتر است که بیان‌گر هیدرولیز سریع‌تر نشاسته در ساقه‌های بوته‌های حاصل از بذرهای پرایم شده و در نتیجه در دسترس بودن گلوکز جهت رشد ساقه است. به عبارت دیگر در چنین گیاهانی امکان بهره‌گیری و کاربرد سریع‌تر قندها برای رشد گیاه فراهم است (کائور و همکاران ۲۰۰۲). باکتری‌های محرک رشد نیز می‌توانند ارتفاع بوته و قابلیت تولید را از طریق سنتز اکسین، فیتوکروم‌ها، افزایش فراهمی و تسهیل جذب مواد غذایی، افزایش دهند (بورد و همکاران ۲۰۰۰). به عقیده خرم‌دل و همکاران (۲۰۱۱) میکروارگانیسم‌ها با تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد زیستی فعال باعث افزایش رشد رویشی بوته می‌شوند (خرم‌دل و همکاران ۲۰۱۱). در آزمایشی پرایمینگ با جیبرلین و اکسین ارتفاع بوته کتان روغنی را افزایش داد (پوریوسف‌میاندوآب و اسماعیل‌زاده ۲۰۱۷) و در آزمایش عباس‌دخت و همکاران (۲۰۱۳) اسمو و هیدروپرایمینگ بذر ذرت، ارتفاع نهایی بوته‌ها را در مقایسه با بذرهای شاهد افزایش داد.

اثرهای رقم و پیش‌تیمار (در سطح یک درصد) بر ارتفاع تا شروع اولین شاخه‌دهی از سطح زمین معنی‌دار بود (جدول ٥). در رابطه با اثر رقم، شاخه‌های بوته‌های هندی و مجاری به ترتیب در فاصله ٢١/٧٣ و ٤٢/٤١ سانتی‌متری از سطح زمین، منشعب شدند (جدول٦). با توجه به اختلاف ارتفاع کل بین بوته‌های این ارقام، اختلاف ارتفاع انشعاب شاخه‌ها نیز بدیهی به نظر می‌رسد. در رابطه با اثر پیش‌تیمار، کمترین ارتفاع انشعاب شاخه در شرایط شاهد (بدون پیش تیمار) به دست آمد (٢٨/١٨ سانتی‌متر). در بین سطوح مختلف پیش‌تیمار بذر، بوته‌هایی که بذر آن‌ها با باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus megaterium* تلقیح شده بود، به ترتیب با متوسط ٣٤/٢٣ و ٣١/٤٧ سانتی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین فاصله سطح زمین تا شروع شاخه را داشتند (جدول ۷).

جدول ۵- تجزیه واریانس (مقایسه میانگین) خصوصیات رشدی بوته دو رقم کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع تا شروع شاخه-دهی	تعداد شاخه اصلی	تعداد شاخه فرعی
رژیم رطوبتی	۱	۳۰٤**	۱٤۸^{ns}	۱۲٤**	۲۰۷**
بلوک*رژیم رطوبتی	۴	۲٤/۹	٤۲/۹	۲/۹٦	۲/۵۵
رقم	۱	۱۷٦۹۹**	۱۰۲٦۷**	۱۰۸**	۲۱۵**
رژیم رطوبتی*رقم	۱	۸٦/۸**	۱۱/٦۲^{ns}	۷/۳۲*	۱۳۲**
خطای a	۴	۱۸/۷	۲۲/۷	۱۰/۸	٦/٦۹
پیش تیمار	۷	۲٦/۷**	۳۷/۲**	۵/۵۸**	۱۵/۹**
رقم*پیش تیمار	۷	۵/٤۹^{ns}	۷/۰۸^{ns}	۲/۱۹^{ns}	۲/٦۱^{ns}
رژیم رطوبتی*پیش تیمار	۷	٤/۸۱^{ns}	۱/٦۳^{ns}	۰/۲٦^{ns}	۱/۹٤^{ns}
رژیم رطوبتی*رقم*پیش تیمار	۷	۵/۷۰^{ns}	٤/۰٤^{ns}	۱/٤۵^{ns}	۲/۸۹^{ns}
خطای b	۵۶	٤/۵۸	٦/۷۸	۱/۳٤	٤/۲۲
ضریب تغییرات (%)	-	٤/۳۳	۸/۱۲	۱۹/۹	٤۰/۹

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال یک درصد، پنج درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

اثرهای رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمار (در سطح یک درصد) و اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم (در سطح پنج درصد) بر تعداد شاخه اصلی معنی‌دار بود (جدول۵). در پایان فصل رشد، میانگین تعداد شاخه اصلی در هر بوته از ارقام هندی و مجاری به ترتیب ۵/٦۳ و ۸/۳۱ عدد بود. قطع آبیاری بعد از گلدهی سبب ریزش تعدادی از شاخه‌ها شد. افت تعداد شاخه اصلی در محیط تنش نسبت به محیط کنترل در رقم هندی معنی‌دار نبود (به طور متوسط ۱/۷ عدد). اما تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار و به طور متوسط ریزش ۲/۸ عدد از شاخه‌ها در هر بوته رقم مجاری شد (جدول ۸). تعداد شاخه اصلی و فرعی در بوته، صفت ژنتیکی است که تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد (پاکباز و همکاران ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد دلیل ریزش شاخه‌ها در رقم مجاری پس از قرار گرفتن در شرایط خشکی، رشد رویشی بیش از حد بوته‌ها تا قبل از گلدهی باشد. با قطع آبیاری در زمان گلدهی، بین تقاضای اندام‌های موجود با تولیدات فتوسنتزی عدم تعادل ایجاد می‌شود. در این شرایط گیاه به منظور حفظ تعادل بخشی از رشد رویشی خود را از دست می‌دهد. افزایش تولید اتیلن در اثر تنش خشکی منجر به ریزش شاخه‌های اضافی می‌شود.

در بوته‌های به وجود آمده از بذور شاهد (بدون پیش تیمار) به طور متوسط ٤/۳ عدد شاخه اصلی وجود داشت. پیش تیمار بذر در مقایسه با بذور شاهد، باعث تشکیل تعداد بیشتری شاخه در هر بوته شد. اما اختلاف تعداد شاخه اصلی بین بوته‌های حاصل از بذرهای پیش تیمارشده با آب مقطر، نیترات پتاسیم و سویه‌های مختلف باکتری (بین ۵/۷ تا ٦/۷ عدد) معنی‌دار نبود (جدول ۷). میکروارگانیسم‌ها با تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد زیستی فعال باعث افزایش رشد رویشی و به دنبال آن تعداد شاخه و تعداد کپسول در بوته می‌شوند (خرم‌دل و همکاران ۲۰۱۱). به علاوه باکتری‌های محرک رشد با بازداری از تولید اتیلن در

شرایط کم آبی مانع ازریزش شاخ و برگ گیاهان در این شرایط می‌شوند (تایلک و همکاران ۲۰۰۵). در گیاهان رشد نامحدود، افزایش تعداد شاخه و به دنبال آن افزایش میزان برگ و سطوح فنوسنتز کننده، میزان فتوسنتز بیشتری در پی داشته و در نتیجه، این تغییرات به افزایش تعداد دانه در گیاه منجر می‌گردد (صادقی‌نژاد و همکاران ۲۰۱٤). بنابراین اثر مثبت پیش-تیمار بذر بر افزایش تعداد شاخه در بوته، در نهایت بر عملکرد دانه اعمال خواهد شد.

تعداد شاخه‌های فرعی موجود بر روی بوته‌های کتان، تحت تأثیر اثر رژیم رطوبتی، رقم، پیش‌تیمارو اثر متقابل رژیم رطوبتی در رقم (در سطح یک درصد) قرار گرفت (جدول ٥). صرف‌نظر از محیط، تعداد شاخه‌های فرعی بوته‌های رقم مجاری نسبت به رقم هندی به طور متوسط (۲/۹۹) عدد بیشتر بود. اثر قطع آبیاری بعد از گلدهی بر تعداد شاخه‌های فرعی رقم هندی معنی‌دار نبود. در هر بوته رقم هندی در محیط کنترل و تنش خشکی به طور متوسط ۳/۸۲ و ۳/۲۲ عدد شاخه فرعی وجود داشت. اما تعداد شاخه‌های فرعی رقم مجاری در محیط تنش (۳/۸۷ عدد) در مقایسه با محیط کنترل (۹/۱٦ عدد) به طور معنی‌داری کمتر بود (شکل۸). صفت تعداد شاخه فرعی در بوته نقش مهمی در تعیین تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه دارد. در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش سرعت گذر از مرحله رویشی به زایشی، تعداد کمتری شاخه فرعی در بوته‌ها تشکیل می‌شود (مظفری و همکاران ۲۰۰۰). در این آزمایش، تنش خشکی بعد از شروع گلدهی اعمال شد، یعنی زمانی که تعداد نهایی شاخه‌های اصلی و فرعی در بوته‌ها تعیین شده است. بنابراین دلیل تعداد کمتر شاخه فرعی در هر بوته را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کمبود آب و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به گل‌ها و دانه‌های جدید نسبت داد که در نهایت منجر به ریزش تعدادی از شاخه‌های تشکیل شده بر روی هر بوته خواهد شد. صادقی‌نژاد و همکاران (۲۰۱٤) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با اثر تنش خشکی بر تعداد شاخه گیاه کلزا گزارش کردند.

مشابه با تعداد شاخه اصلی، کمترین تعداد شاخه فرعی (سه عدد) نیز در بوته‌های حاصل از بذور شاهد (بدون پیش تیمار) وجود داشت. بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته (٦/۸٦ عدد) به دنبال تلقیح بذر با باکتری *Bacillus megaterium* تشکیل شد. هر چند که با تعداد شاخه فرعی در بوته‌های رشد یافته از بذور تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Bacillus pumilus* (به ترتیب ٥/۷۹ و ٥/٦۷ عدد) تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول۷). در آزمایش پاکباز و همکاران (۲۰۱٥) هیدرو و اسموپرایمینگ بذرهای عدس منجر به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رقم برخصوصیات رشدی بوته دو رقم کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی

	تیمار	ارتفاع تا شروع شاخه‌دهی (cm)
رقم	هندی	۲۱/۷^{b}
	مجاری	٤۲/٤^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بذر برخصوصیات رشدی بوته دو رقم کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذر و اعمال تنش خشکی پس از گلدهی.

پیش تیمار	ارتفاع بوته (cm)	ارتفاع تا شروع شاخه‌دهی (cm)	تعداد شاخه اصلی	تعداد شاخه فرعی
Control	٤٦/١^{c}	٢٨/٢^{c}	٤/٣٠^{b}	٢/٩٨^{c}
Osmo-prime	٥٠/١^{ab}	٣٢/٧^{ab}	٥/٧٤^{a}	٤/٤٨^{bc}
Hydro-Prime	٤٩/٣^{ab}	٣٢/٧^{ab}	٥/٩٦^{a}	٤/٩٨^{b}
Bacillus pumilus	٤٩/٦^{ab}	٣٢/٤^{ab}	٦/١٥^{a}	٥/٦٧^{ab}
Bacillus megaterium	٥٠/٩^{a}	٣١/٥^{b}	٦/٦٦^{a}	٦/٨٦^{a}
Bacillus sp.	٤٩/٨^{ab}	٣٢/٤^{ab}	٦/١٥^{a}	٥/٧٩^{ab}
Bacillus amyloliquefaciens	٤٩/٢^{b}	٣٤/٢^{a}	٥/٨٧^{a}	٤/٣٤^{bc}
Pseudomonas geniculate	٥٠/٨^{ab}	٣٣/١^{ab}	٥/٨٤^{a}	٥/٠٢^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. * پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم ۵۰۰ پی‌پی‌ام و ⅄ پیش‌تیمار بذر با آب.

جدول ۸- مقایسه میانگین ترکیبات تیماری تنش خشکی پس از گلدهی و رقم بر تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول پوک، وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته کتان در شرایط استفاده از پیش‌تیمار بذرو اعمال تنش خشکی پس از گلدهی.

رژیم رطوبتی	رقم	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع تا شروع شاخه‌دهی (cm)	ارتفاع بوته (cm)
کنترل	هندی	٣/٨٢^{b}	٢٠/٩^{b}	٣٦/٧^{c}
	مجاری	٩/١٦^{a}	٤٠/٨^{a}	٦٥/٨^{a}
تنش	هندی	٣/٢٢^{b}	٢٢/٦^{b}	٣٥/١^{c}
	مجاری	٣/٨٧^{b}	٤٤/٠^{a}	٦٠/٣^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

اعمال تنش کم‌آبی پس از گلدهی تا زمان رسیدگی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه (٤١ درصد)، عملکرد زیست‌توده (٣٨ درصد)، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی شد. استفاده از پیش تیمارهای پرایمینگ بذر و اعمال باکتری‌های محرک رشد نه تنها در شرایط تنش کم‌آبی پس از گلدهی سبب افزایش و بهبود عملکرد و سایر صفات مورد بررسی و تخفیف اثرات تنش شد، بلکه در شرایط مطلوب آبیاری نیز اثرات مفید آنها معنی‌دار بود. با توجه به اهمیت بالای صفت‌های عملکرد دانه و زیست‌توده، به ترتیب اعمال باکتری‌های محرک رشد *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus megaterium* بالاترین مقادیر صفات مذکور را در شرایط شاهد (عدم تنش کم-آبی) و تنش کم‌آبی از خود نشان دادند. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از سویه‌های مناسب باکتری‌های محرک رشد گیاه جهت تلقیح بذر از راهکارهای مناسب جهت افزایش کارایی گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی باشد. با توجه به موقعیت کشور ما که جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان است، می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف پرایمینگ بذر و استفاده از

باکتری‌های محرک رشد جهت تلقیح بذر که سازگار با محیط زیست و گامی مهم در راستای رسیدن به سیستم کشاورزی پایدار و محصولات ارگانیک می‌باشند، تحمل گیاه را به تنش‌های زنده و غیر زنده افزایش داد و شاهد عملکرد بیشتری از گیاهان زراعی بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی دانشگاه رازی جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Abbasdokht H, Ghorbani H and Rostami M. 2013. The effect of different phosphorus levels during seed osmo-hydrothermal priming on corn yield. Journal of Crop Production, 7 (2):1-22. (In Persian).

Alaei-Tabatabaei FS, Gharine MH, Fathi Gh and Siadat SA. 2013. Effect of osmo and hydropriming on Seed Germination, seedling establishment and grain yield of wheat cultivars under Khoozestan climatic conditions. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 2(1):101-114. (In Persian).

Azarnia M and Eisavand HR. 2013. Priming is a method for improve seed quality for increase growth and yield crop. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 2: 277-287. (In Persian).

Burd GI, Dixon DG and Glick BR. 2000. Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. Canadian Journal of Microbiology, 33: 237-245.

Chinnusamy V, Schumaker K and Zhu JK. 2004. Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signaling in plants. Journal of Experimental Botany, 55: 225-236.

Earl HJ and Davis R. 2003. Drought stress effects on maize. Agronomy Journal, 95:688-696.

Eisavand HR, Tavakool-Ashrafi R, Sharifzadeh F, Madah-Arefi H and Hesamzadeh-Hejazi SM. 2010. Effects of hormonal priming and drought stress on activity and ezozyme of antioxidant enzymes in deteriorated see of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* Host). Seed Science and Technology, 38: 280-297. (In Persian).

Ezazi R and Ahmadzadeh M. 2014. The role of bacteria to cope with abiotic stresses in plants. Plant Pathology Science, 3(2): 44-62. (In Persian).

Ghooshchi F, Seilsepour M and Jafari P. 2008. Effects of water stress on yield and some agronomic traits of maize [SC301]. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 4(3): 302-305. (In Persian).

Hasanzadeh-Ghorttapeh A and Javadi H. 2016. Study on the effects of inoculation with biofertilizers (Azotobacter and Azospirillum) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola in west azerbaijan. Journal of Crop Production and Processing, 5(18): 39-50. (In Persian).

Karbalaei Valiha E and Daneshian J. 2013. The effect of vermicompost and growth promoting bacteria on yield and yield components of oil flax. National Electronic Conference on New Achievements in Engineering and Basic Sciences. (In Persian).

Kasmaei Mirmiran M, Daneshian J, Shirani Rad AH and Valadi AR. 2013. Evaluation of vegetative growth response of flaxseed to Pseudomonas and Azospilium under water stress. Second National Congress of Organic and Conventional Agriculture. Takestan Azad University. (In Persian).

Kaur S, Gupta AK, Kaur N. 2002. Effect of osmo and hydro priming of chickpea seeds on the performance of crop in the field. Chickpea Pigeon Pea Newsletter. 9: 15-17.

Kazemi Poshtmasari H, Pirdashti H, Bamanyar MA and Nasiri M. 2009. Investigating nitrogen remobilization in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in different nitrogen fertilizer rates and top dressed. Iranian Journal of Crop Production, 1(3):1-16. (In Persian).

Khorramdel S, Koocheki A, Nassiri Mahallati M and Ghorbani R. 2011. Effect of bio fertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 758-766. (In Persian).

Khosravi A, Seyed-Sharifi R and Imani A. 2014. Study of seed inoculation with Azotobacter and Psedomunas and nitrogen application timing on yield, fertilizer use efficiency and grain filling rate of sunflower. Journal of Crop Improvement, 16(1): 139-155. (In Persian).

Lawler DW and Cornic G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. Journal Plant Cell and Environment, 25: 275-294.

Majidian M, Ghalavand A, Karimian N and Kamgar-Haghighi AA. 2009. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. Journal of Crop Production, 1(2): 67-85. (In Persian).

Mozzafari F, Ghorbanli S, Babai M and Farzami A. 2000. The effect of water stress on the seed oil of nigella sativa L. Journal of Essential Oil Research, 12: 36-38. (In Persian).

Nazari S, Aboutalbian MA, Golzardi F. 2016. Investigation of hydropriming and osmopriming with $ZnSo_4$ effects on characteristics germination of three winter rapeseed cultivars. Iranian Journal of Seed Research, 3(1):39-58. (In Persian).

Omidbeigi R, Tabatabaei SMF and Akbari T. 2001. Effect of N-fertilizers and irrigation on productivity of linseed. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32(1):53-64. (In Persian).

Pakbaz N, Barary M, Mehrabi AA and Hatami A. 2015. Effects of seed priming on morpho-phenological and yield characteristics of different lentil genotypes (*Lens culinaris* L.) under rain-fed and supplemental irrigation conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 32(4): 535-552. (In Persian).

Pouryousef-Miandoab M and Esmaeilzadeh F. 2017. The Effect of foliar application of growth stimulants and priming on yield and grain oil content of flax (*Linum usitatissimum* L.). Journal of Crop Ecophysiology, 40(4): 874-857. (In Persian).

Rahimi A, Moghaddam SS, Ghiyasi M., Heydarzadeh S, Ghazizadeh K and Popović-Djordjević J. 2019. The Influence of Chemical, Organic and Biological Fertilizers on Agrobiological and Antioxidant Properties of Syrian Cephalaria (*Cephalaria syriaca* L.). Agriculture, 9:122-135.

Rahimzadeh S and Pirzad AR. 2017. Microorganisms (AMF and PSB) interaction on linseed productivity under water-deficit condition. International Journal of Plant Production, 11(2): 259-274.

Rajabi Khamseh S, Danesh-Shahraki A, Rafieiolhossaini M, Saeedi K and Ghobadinia m.2019. Effects of Plant Growth Promoting Bacteria and Irrigation Levels on Physiological Traits and Yield of Flax (*Linum usitatissimum* L.). Journal of Crop Ecophysiology, 50(2):231-250. (In Persian).

Renaut J, Lutts S, Hoffmann L and Hausman JF. 2004. Responses of poplar to chilling temperature: proteomi-cs and physiological aspects. Plant Biology, 6: 81-90.

Rizwan M, Maqsood M, Rafiq M, Saeed M and Ali Z. 2003. Maize (*Zea mays* L.) response to split application of nitrogen. International Journal of Agriculture and Biology, 5(1): 19-21. (In Persian).

Sadeghian-Dehkordy SA and Tadayyon A. 2017. Response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to bio-fertilizer, chemical nitrogen and phosphorus under drought stress conditions. Journal of Plant Ecophysiology, 8(27): 72-89. (In Persian).

Sadeghinejad AA, Modarres-Sanavy A, Tabatabaei A and Modares-Vaneghi M. 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseeds (*Brassica napus* L.) cultivars. Water and Soil Science, 24(2): 53-64. (In Persian).

Schütz L, Gattinger A, Meier M, Müller A, Boller T, Mäder P and Mathimaran N. 2018. Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization-a global. Frontier in Plant Science, 8:2204-2217.

Shabani G, Khoshkho Sh, Khorami M, Jafarzadeh M and Akbarabadi A. 2015. Effect of Sulfur and Biofertilizers Application on Yield and Yield Components of linseed (*Linum ustatissimum* L.). Applied Field Crop Research, 28(4):35-42. (In Persian).

Shanker AK and Venkateswarlu B. 2011. Abiotic Stress in Plants–Mechanisms and Adaptations. In Tech Croatia, 428 p.

Sharifi R and Ryu CM. 2016. Chatting with a tiny belowground member of the holobiome: communication between plants and growth-promoting rhizobacteria. Advances in Botanical Research, 82: 135-160.

Sierts HPG, Geisler J and Diepenbrock W. 1987. Stability of yield components from winter oilseed (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science, 158: 107-113.

Soto-Cerda BJ, Diederichsen A, Ragupathy R and Cloutier S. 2013. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. BMC Plant Biology, 6(13): 78-91.

Tadayyon A, Soltanian M. 2016. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root colonization and phosphorus uptake of linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress conditions. Journal of Plant Process and Function, 5(15):147-156. (In Persian).

Tadesse T, Singh H and Weyessa B. 2009. Correlation and path coefficient analysis among seed yield traitsand oil content in ethiopian linseed germplasm. International Journal of Sustainable Crop Protection, 4: 8-16.

Tilak KVBR, Ranganayaki N, Pal KK, De R, Saxena AK, Shekhar-Nautiyal C, Mittal S, Tripathi AK and Johri BN. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science 89: 136-150.

Tizazu Y, Ayalew D, Assefa GTF and Moral MT. 2019. Evaluation of seed priming and coating on germination and early seedling growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) under laboratory condition at Gondar, Ethiopia. Cogent Food and Agriculture, 5:1-9.

Vazirimehr M, Ganjali HR and Fanaei HR. 2013. Effect of seed priming on quantitative traits corn single cross hybrids 704 in the Region Sistan. Journal of Applied and Agricultural Science, 8(7): 1151-1154.

Yadav KK and Sarkar S. 2019. Biofertilizers, impact on soil fertility and crop productivity under sustainable agriculture. Environment and Ecology, 37(1): 89-93.

Zuk M, Richter D, Matuła J and Szopa J. 2015. Linseed, the multipurpose plant. Industrial Crops and Products, 75:165–177.